

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Применение возобновляемых энергоисточников в системах электроснабжения магистральных трубопроводов

УДК 621.3.031:620.91:622.692.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4К	Батырбекова Айгерим Батырбековна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Плотников И. А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Грахова Е. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бородин Ю. В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Завьялов В.М.	д.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭПП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) **Завьялов В.М.**  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4K	Батырбекова Айгерим Батырбековна

Тема работы:

Применение возобновляемых энергоисточников в системах электроснабжения магистральных трубопроводов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.2016 г. № 764/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>- <i>Наименование объекта исследования;</i></p> <p>- <i>Система электроснабжения газораспределительной станции магистральных газопроводов на основе проекта «Сила Сибири - 2» на территории республики Алтай</i></p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>- Электроснабжение газораспределительных подстанций магистральных газопроводов. Аналитический обзор; - Разработка электроснабжения ГРС магистральных газопроводов; - Математическое моделирование схемы электроснабжения; - Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - Социальная ответственность</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>- Презентация в формате PDF</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p>Грахова Елена Александровна</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Бородин Юрий Викторович</p>
<p><b>Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке</b></p>	<p>Кобенко Юрий Викторович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Stromversorgung der Gasverteilungsumspannwerke mit Gasrohrleitungen. Analytische Übersicht</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Плотников И. А.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4K	Батырбекова Айгерим Батырбековна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4K	Батырбекова Айгерим Батырбековна

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Суммарная стоимость оборудования – 1656,18 тыс. руб. - Суммарная стоимость строительных и монтажных работ – 331,24 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- з/п рабочим – 133,4 тыс. руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления на социальные нужды 30% от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование научного исследования (НТИ не является коммерческим проектом)
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывался
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование процесса управления НТИ (составление перечня и трудоемкости работ, разработка календарного плана); Расчет бюджета проектно-исследовательской работы (ПИР)
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка энергетической и ресурсной эффективности, оценка экономического эффекта НТИ

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Перечень работ
2. Временные показатели выполнения ВКР
3. Диаграмма Ганта
4. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е. А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4K	Батырбекова Айгерим Батырбековна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM4K	Батырбековой Айгерим Батырбековне

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>магистр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника</b>

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Дизельная электростанция в контейнере.</p> <p>1. Вредные проявления факторов производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– шумы,</li> <li>– вибрации,</li> <li>– несоответствие параметров микроклимата,</li> <li>– низкая освещённость;</li> </ul> <p>2. Опасные проявления факторов производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожарный взрыв,</li> <li>– электрический взрыв;</li> </ul> <p>3. Чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар</li> </ul>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Средства защиты от вредных и опасных факторов предусмотрены на основе следующих документов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12. 1.003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;</li> <li>– ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</li> <li>– ГОСТ 12.2.007.13-88 ССБТ. Лампы электрические. Требования безопасности;</li> <li>– ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;</li> <li>– ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля;</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;</li> <li>– ГОСТ 17.2.3.02-2014 Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой</li> </ul>	<p>Работы ведутся в помещении с нормальным уровнем освещения (люминесцентные лампы с суммарным уровнем освещенности не ниже 200 люкс в соответствии с СП52.13330.2011 Актуализированной версии СНиП 23-05-95*). Естественное и искусственное освещение. Уровень шума в пределах нормы.</p>
--	--

<p>размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Термические опасности: термический ожог;</li> <li>– Электробезопасность: поражение электрическим током;</li> <li>– Пожаровзрывобезопасность: неисправности в электропроводке.</li> </ul> <p>Чтобы не допустить этих травм выдается спецодежда и дополнительное оборудование согласно ГОСТ 12.0.003-74. В контейнере ДЭС установлена пожарная сигнализация и имеется огнетушитель типа ОУ-3.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработка решений по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>ДЭС оказывает опасное и вредное воздействие на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу), выбрасывая выхлопные газы в атмосферу. Для ДЭС привозят ГСМ, которые хранятся в складах. Склады следует бетонировать, чтобы ГСМ не попал в почву. Бочки надо прессовать и сдавать на металлолом согласно ГОСТ 17.2.3.02-2014, ГОСТ 1639-2009. Люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с ГОСТ 30773-2001.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Разработан ряд действий в результате возникновения пожара и мер по ликвидации его последствий, также разработан план эвакуации. В помещении имеются два огнетушителя ОУ-3.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Схема подвеса светильников над рабочей поверхностью;</li> <li>– План размещения светильников</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

#### **Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бородин Ю. В.	к.т.н.		

#### **Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4К	Батырбекова Айгерим Батырбековна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования магистр

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

Период выполнения осенний 2014/2015/, весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09.15-28.10.15	Электроснабжение газораспределительных подстанций магистральных газопроводов. Аналитический обзор	
5.11.15-30.12.15	Разработка электроснабжения ГРС магистральных газопроводов	
17.01.16-24.03.16	Математическое моделирование схемы электроснабжения	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Плотников И.А.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Завьялов В.М.	д.т.н., доцент		

## **Реферат**

Магистерская диссертация содержит пояснительную записку, включающую 130 с., 51 рисунков, 22 таблиц, 1 приложение, 37 источников.

**Цель работы** – разработка автономной системы электроснабжения газораспределительной станции магистрального трубопровода с использованием возобновляемых энергетических источников.

**Для достижения поставленной цели предлагается решить задачи:**

— Анализ требований, предъявляемых к системам электроснабжения газораспределительных подстанций.

— Расчет и анализ графиков электрических нагрузок газораспределительной станции.

— Анализ существующих схем электроснабжения элементов магистральных газопроводов.

— Оценка потенциала возобновляемых энергетических ресурсов (энергий Солнца и ветра) на предмет использования для построения данной системы электроснабжения.

— Разработка структурной схемы электроснабжения газораспределительной станции.

— Построение математической модели схемы электроснабжения.

— Технико-экономическая оценка вариантов схем автономного электроснабжения газораспределительной станции.

— Разработка требований к оборудованию системы электроснабжения.

— Подбор и разработка оборудования для построения системы электроснабжения.

— Написание публикации по результатам работы.



## **Определения, нормативные ссылки и сокращения**

В настоящей работе использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

ГОСТ 183-74 Машины вращающиеся. Общие технические условия

ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

ГОСТ 15543.1-89 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 24607-88 Преобразователи частоты полупроводниковые. Общие технические требования

ГОСТ 24682-81 Изделия электротехнические. Общие технические требования в части стойкости к воздействию специальных сред.

ГОСТ 26416-85 Агрегаты бесперебойного питания на напряжение до 1 кВ. Общие технические условия

ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) Стандартные напряжения

ГОСТ Р 50030.1-2000 (МЭК 60947-1-99) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний

ГОСТ Р 50783-95 Электроагрегаты и передвижные электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Общие технические требования

ГОСТ Р 51321.1-2000 (МЭК 60439-1-92) Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51330.0-99 (МЭК 60079-0-98) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования

ОСТ 51.40-93 Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Электроустановка** - совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

**Электроснабжение** - обеспечение потребителей электрической энергией.

**Системой электроснабжения** называется совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

**Электрической сетью** называется совокупность электроустановок для передачи распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных (ВЛ) и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

**Газораспределительная станция** служит для понижения давления газа до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления и обеспечивает также подачу газа обусловленного количества с определённой степенью очистки и одоризации.

**Приемником электрической энергии** (электроприемником) называется аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**Потребителем электрической энергии** называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Список принятых сокращений:

АКБ – аккумуляторные батареи;

ВГ – ветрогенератор;

ВТ – ветротурбина;

ВЭС – ветроэлектростанция;

ВЭУ – ветроэлектроустановка;

ГКС – газокompрессорная станция;  
ГРП – газорегуляторный пункт;  
ГРС – газораспределительная станция;  
ГСМ – горюче-смазочные материалы;  
ГТС – газотранспортная система;  
ДВС – двигатель внутреннего сгорания;  
ДГ – дизельный генератор;  
ДГА – детандер-генераторные агрегаты;  
ДГУ – дизельгенераторная установка;  
ДУ – дизельная установка;  
ДЭС – дизельная электростанция;  
ИБЭП – источник бесперебойного электропитания;  
ИП – источник питания;  
КП – крановые площадки;  
КПД – коэффициент полезного действия;  
ПУЭ – правила устройств электротехнических установок;  
СБ – солнечная батарея;  
СГ – синхронный генератор;  
СКЗ – станция катодной защиты;  
СП – солнечная панель;  
ТЭ – топливный элемент;  
ТЭГ – термоэлектродгенераторы;  
ТФЭГ – термофотоэлектродгенераторы;  
ФЭС – фотоэлектростанция;  
ФЭУ – фотоэлектродустановка.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	14
1 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР .....	18
1.1 Газораспределительные станции .....	18
1.2 Требования, предъявляемые к электроснабжению ГРС магистральных газопроводов .....	27
1.3 Поиск перспективных систем электроснабжения ГРС магистральных газопроводов .....	30
1.4 Цели и задачи выпускной квалификационной работы .....	39
Вывод по первой главе .....	40
2 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГРС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ .....	42
2.1 Газопровод «Сила Сибири-2» .....	42
2.2 Оценка нагрузки объекта электроснабжения ГРС .....	46
2.3 Анализ существующих схем электроснабжения элементов магистральных газопроводов .....	47
2.4 Оценка потенциала возобновляемых энергетических ресурсов на предмет использования для построения данной системы электроснабжения .....	51
Вывод по второй главе .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Вывод по третьей главе .....	96
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	98
4.1 Техничко-экономическое обоснование научного исследования .....	99
4.2 Планирование процесса управления НТИ .....	100
4.3 Расчет бюджета проектно-исследовательской работы .....	105
4.4 Оценка энергетической и ресурсной эффективности, оценка экономического эффекта НТИ .....	109
Вывод по четвертой главе .....	111
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	112
5.1 Анализ опасных и вредных факторов .....	112
5.2 Производственная санитария .....	112
5.3 Расчет искусственного освещения .....	115
5.4 Техника безопасности дежурного персонала .....	120
5.5 Пожарная безопасность .....	121
5.6 Охрана окружающей среды .....	123

Вывод по пятой главе.....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	124
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	130

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** Одними из основных объектов инфраструктуры газодобывающих и газоснабжающих организаций являются магистральные трубопроводы. В состав них входят газораспределительные подстанции, которые для своей работы требуют электропитание. Подключение объектов газораспределительной сети к сетям центрального электроснабжения может оказаться дорогостоящим, и во многих случаях невыполнимым мероприятием из-за удаленности магистральных трубопроводов от сетей электроснабжения. При газификации нередко встает вопрос об электроснабжении объектов газораспределительной сети. Особенно это касается крупных газораспределительных пунктов и станций электрохимической защиты. Кроме того, в настоящее время во всех отраслях промышленности, в том числе и в газораспределении, широкое распространение получают системы телемеханики. При установке систем телемеханики на уже существующих объектах, не подключенных к электросетям, приходится решать задачу их электроснабжения. В связи с выше сказанным, поиск экономически эффективных технических решений по построению систем автономного электроснабжения газораспределительных подстанций магистральных трубопроводов становится весьма актуальной задачей. Нередко для подключения объекта требуются установка дорогостоящих электрических подстанций и прокладка протяженных линий электропередач. На получение разрешения на подключение, технических условий и создание проекта электроснабжения также нужны временные и финансовые затраты. В настоящее время в качестве генерирующего источника системы электроснабжения газораспределительной станции используются различные виды тепловых двигателей, как правило, импортного производства, работающих на отбираемом газе. Как показала практика такие системы дорогостоящие в эксплуатации и не обеспечивают требуемой надежности электроснабжения.

**Возможные пути решения проблем.** Альтернатива подключения к сетям электроснабжающих организаций – автономное электроснабжение. Газораспределительные организации сами являются энергоснабжающими организациями, вопрос лишь в преобразовании одного вида энергии в другой.

На этом пути как в газовых, так и в электрических сетях неизбежно происходят технологические потери энергии. Между тем все объекты газораспределительной сети либо уже имеют подключение к газопроводу, либо расположены в непосредственной близости к нему. Таким образом, доступ к химической энергии газа обеспечен всегда, а во многих случаях есть возможность использовать и кинетическую энергию потока газа.

Выработка электроэнергии на объектах газораспределительной сети позволит повысить энергоэффективность системы, даже если КПД преобразования химической энергии газа в электрическую будет немного ниже КПД электростанций генерирующих компаний. Для справки: в среднем по России КПД тепловых электростанций в разных источниках оценивается около 25-35%, газовых электростанций – около 38% [1]. Современные средства малой энергетики вполне могут обеспечить КПД не ниже, а некоторые дают даже более высокий КПД. Наличие компаний-посредников (электрогенерирующих и электроснабжающих) также ведет к удорожанию конечного продукта, то есть электроэнергии.

Кроме того, существуют и альтернативные способы получения электроэнергии из возобновляемых источников, которые активно совершенствуются и получают в последнее время все большее распространение. При применении возобновляемых источников энергии платить за энергоноситель не придется вовсе.

Таким образом, перспектива для газовых компаний не оплачивать подключение и не приобретать электричество, а вложить средства в систему автономного электроснабжения становится все более привлекательной. Газовикам легче осуществить монтаж и подключение газопотребляющего

оборудования, чем иметь дело с подключением к электросетям. По сути, вопрос сводится к размеру капитальных и эксплуатационных затрат на систему автономного электроснабжения. Немаловажен и такой параметр, как надежность системы электроснабжения: подключение к электросети хоть и не дает стопроцентной гарантии непрерывного электроснабжения, но все же отключения случаются не так часто, и, как правило, электроснабжение быстро восстанавливается. Как правило, когда отсутствует центральное электроснабжение, используют электроснабжение на основе возобновляемых источников энергии.

Целью данной работы является оценка возможности применения возобновляемых источников для автономного электроснабжения газораспределительных подстанций.

Работа выполнялась в соответствии с задачами, приведенными выше. Проведен аналитический обзор методов. По результатам оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов на предмет использования для построения данной системы электроснабжения, проанализированы существующие схемы электроснабжения элементов магистральных газопроводов. Наиболее перспективными источниками возобновляемой энергии являются энергия Солнца и ветра. Были разработаны три схемы электроснабжения: схема в составе с ветроэлектростанцией (ВЭС), с фотоэлектростанцией (ФЭС) и в составе с ВЭС и ФЭС. Были рассчитаны нагрузки объекта электроснабжения газораспределительной станции магистральных газопроводов. Также рассчитаны потенциалы энергии Солнца и ветра в республике Алтай. Для каждой схемы был произведен выбор оборудования. На основе технико-экономических расчетов была выбрана схема электроснабжения в составе с ВЭС. В результате выполнения работы построены математические модели элементов, входящих в состав автономной системы электроснабжения газораспределительной станции, а именно модели: электрических нагрузок станции, ветроэнергетической установки, силовых



электронных преобразователей. При составлении модели использованы данные, полученные расчетным путем. На основе построенных моделей элементов разработана комплексная имитационная компьютерная модель рассматриваемой энергосистемы в программном пакете MATLAB Simulink.

В работе также рассматривался раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», где произведена оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ). Осуществлено планирование процесса управления НТИ. Произведен расчет стоимости научного исследования, в том числе стоимость на материально-технические и человеческие ресурсы. Определена энергетическая и экономическая эффективность работы.

В разделе «Социальная ответственность» были выявлены вредные и опасные проявления факторов производственной среды, а также чрезвычайные ситуации. Произвели расчет искусственного освещения в контейнере, выбрали осветительные приборы, а также количество светильников. Разработали план размещения светильников максимально удобным образом, чтобы благоприятствовало рабочему процессу. Разработали ряд действий в случае возникновения пожара и мер по ликвидации его последствий, а также был разработан план эвакуации.

# **1 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

## **1.1 Газораспределительные станции**

Газотранспортная система (ГТС) в упрощённом представлении состоит из линейной части (трубопроводов) и газокompрессорных станций. Под линейной частью подразумеваются магистральные газопроводы и газопроводы-отводы, а также некоторые другие технологические объекты, которые будут описаны далее. Газокompрессорные станции (ГКС), представляют собой чрезвычайно сложные технологические объекты. При этом необходимо отметить, что центром управления и компрессорной станцией, и линейной частью (в определённой зоне ответственности) является именно ГКС, на которой есть соответствующий диспетчерский пункт. Упомянутая зона ответственности, кстати, может занимать площадь 300 на 300 км [2].

Газораспределительная станция (ГРС), служит для понижения давления газа до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления и обеспечивает также подачу газа обусловленного количества с определённой степенью очистки и одоризации.

На ГРС осуществляются следующие основные технологические процессы:

- очистка газа от твёрдых и жидких примесей;
- снижение давления (редуцирование);
- одоризация;
- учёт количества (расхода) газа и его других параметров перед подачей его потребителю;
- контроль телеметрии;
- управление задвижками для перекрытия;
- электрохимическая защита трубопровода.

По назначению различают несколько типов ГРС:

- 1) станции на ответвлении магистрального газопровода (на конечном участке его ответвления к населённому пункту или промышленному объекту) производительностью от 5-10 до 300-500 тыс м<sup>3</sup>/час;
- 2) промысловая ГРС для подготовки газа (удаление пыли, влаги), добытого на промысле, а также для снабжения газом близлежащего к промыслу населённого пункта;
- 3) контрольно-распределительные пункты, размещаемые на ответвлениях от магистральных газопроводов к промышленным или сельскохозяйственным объектам, а также для питания кольцевой системы газопроводов вокруг города, производительностью от 2-3 до 10-12 тыс м<sup>3</sup>/час;
- 4) автоматическая ГРС для снабжения газом небольших населённых пунктов, совхозных и колхозных посёлков на ответвлениях от магистральных газопроводов, производительностью 1-3 тыс м<sup>3</sup>/час;
- 5) газорегуляторные пункты (ГРП) , производительностью от 1 до 30 тыс м<sup>3</sup>/час, для снижения давления газа и поддержания его на заданном уровне на городских газовых сетях высокого и среднего давления;
- 6) газорегуляторные установки для питания газовых сетей или целиком объектов с расходом газа до 1,5 тыс м<sup>3</sup>/час.

Основные узлы ГРС: и сбора конденсата, подогрева, редуцирования, замера, одоризации, подготовки газа для собственных нужд, подготовки теплоносителя, отопления.

1. узел переключения;
2. узел очистки газа и сбора конденсата;
3. узел предотвращения гидратообразования;
4. узел подготовки газа для собственных нужд;
5. узел редуцирования;
6. узел подготовки теплоносителя;
7. узел отопления;

8. узел учёта газа;
9. узел одоризации газа;
10. узел телеметрии.

Узел переключения ГРС предназначен для переключения потока газа высокого давления с автоматического на ручное регулирование давления по обводной линии, а также для предотвращения повышения давления в линии подачи газа с помощью предохранительной арматуры.

Узел очистки газа ГРС предназначен для предотвращения попадания механических (твёрдых и жидких) примесей в технологическое и газорегуляторное оборудование и средства контроля и автоматики.

Узел предотвращения гидратообразований предназначен для предотвращения обмерзания арматуры и образования кристаллогидратов в газопроводных коммуникациях и арматуре.

Узел редуцирования газа предназначен для снижения и автоматического поддержания заданного давления подаваемого газа.

Узел учёта газа предназначен для учёта количества расхода газа с помощью различных расходомеров и счётчиков.

Узел одоризации газа предназначен для добавления в газ веществ с резким неприятным запахом (одорантов). Это позволяет своевременно обнаруживать утечки газа по запаху без специального оборудования [3].

Потребители электроэнергии на газораспределительной станции имеют небольшую мощность, но надёжная их работа определяет функционирование всего технологического процесса станций и надёжность подачи газа потребителям. Оснащение ГРС микропроцессорными устройствами коммерческого учёта газа, средствами автоматизации, телемеханики и связи предъявляют повышенные требования к надёжности электроснабжения и к качеству электроэнергии. Эти требования обусловлены в первую очередь возникновением прямых финансовых потерь газоснабжающих организаций при перерывах в электроснабжении.

Особенность ГРС как потребителя электроэнергии состоит в том, что здесь в общем случае присутствуют электроприемники всех трех категорий надежности, а именно:

- электроприемники III категории надежности - наружное освещение, электрообогрев технологических помещений, бытовая нагрузка, катодная защита и др.;

- электроприемники II категории надежности - аппаратура связи, аппаратура дистанционной сигнализации, бытовая нагрузка при надомной форме обслуживания и др.;

- электроприемники I категории надежности – аварийное освещение, пожарные насосы, системы коммерческого учета газа, аварийная вентиляция технологических помещений, аппаратура систем автоматического управления ГРС, аппаратура телемеханики, аппаратура автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) и др.

Поэтому ГРС необходимо рассматривать не как отдельный электроприемник или как потребитель с однородными электроприемниками, а как комплекс электроприемников, имеющих различные категории надежности и получающих питание от разных взаиморезервирующих источников [4].

Так как ГРС находится не в зоне центрального электроснабжения, то задачи электроснабжения используются посредством системы ORMAT различного типа и мощности, которые могут успешно применяться в качестве резервных или основных источников для электроснабжения ГРС.

Преобразователь энергии ORMAT® — это турбогенератор с замкнутым циклом пара. Это полностью укомплектованный независимый источник энергии для удаленных необслуживаемых объектов, работающий по циклу Ренкина.

Система выполнена в виде контейнера, в котором находятся система сжигания топлива, парогенератор, турбогенератор, конденсатор воздушного охлаждения и шкаф распределительной и управляющей аппаратуры. Общий

вид ORMAT представлен на рисунке 1. ORMAT представляет собой источник питания постоянного (выпрямленного и отфильтрованного) тока, рассчитанный на непрерывную или переменную нагрузку и требующий минимального техобслуживания.

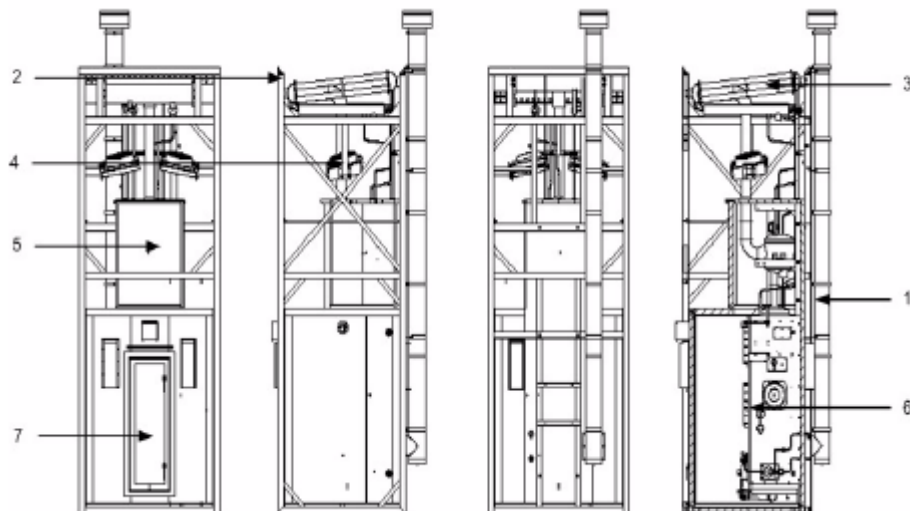


Рисунок 1. – Общий вид ORMAT:

1 – вытяжная труба, 2 – подъемные проушины диаметром 20 (4 шт.), 3 – конденсатор, 4 – вентилятор конденсатора, 5 – турбогенератор внутри панелей, 6 – парогенератор внутри панелей, 7 – служебная дверь

ORMAT преобразует получаемую тепловую энергию в энергию пара низкого давления органической жидкости, которая, в свою очередь, преобразуется во вращательную энергию турбины и генератора, сидящих на общем валу (органический цикл Ренкина). Генератор вырабатывает электрический ток, который выпрямляется и доводится до нужного качества выпрямителем. Отработавший пар, выходящий из турбины, поступает в конденсатор с воздушным охлаждением. Сконденсировавшаяся жидкость подается обратно в парогенератор. Для повышения надежности в состав системы входят дизель-генератор в горячем резерве, накопитель на аккумуляторных батареях.

На рисунке 2 приведена принципиальная схема турбогенератора с замкнутым циклом пара, где показаны основные элементы, участвующие в термодинамическом цикле.

В состав этой системы входят следующие устройства:

- Парогенератор. Тепло, получаемое при сгорании топлива, испаряет в парогенераторе органическую жидкость. Для сжигания могут использоваться различные виды топлива.
- Турбина. Расширяющийся пар вращает турбину и создает мощность, необходимую для привода генератора, сидящего на общем с турбиной валу.
- Конденсатор. Отработавший пар конденсируется здесь в жидкость и возвращается (самотеком) в парогенератор. Конденсатор работает на воздушном охлаждении; в экстремальных условиях могут использоваться вентиляторы.

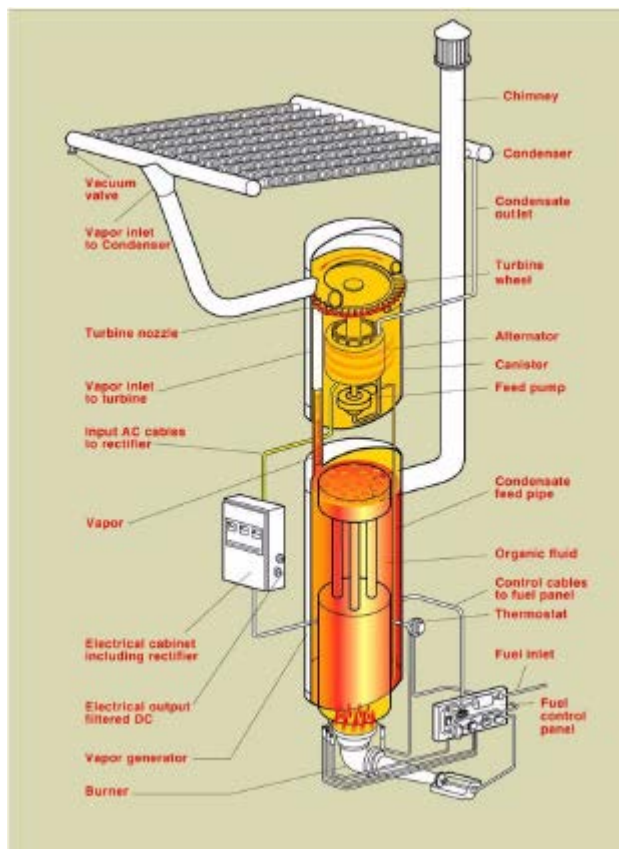


Рисунок 2. – Цикл жидкость – пар

Система герметизирована и работает в условиях вакуума. В качестве рабочего тела используется специально подобранная органическая жидкость (MF). Загрязнения, содержащиеся в рабочей жидкости, могут со временем выделяться из нее, когда она находится в парообразном состоянии. Эти

загрязнения, или NCG (неконденсируемые газы) скапливаются в конденсаторе и при нормальных рабочих условиях не конденсируются. Если в конденсаторе скапливается значительное количество NCG, это препятствует его нормальной работе и снижает производительность турбогенератора с замкнутым циклом пара. Эта проблема решается «дегазацией» [5].

К наиболее распространённым технологическим объектам линейной части газотранспортной системы можно отнести: крановые площадки (КП), газораспределительные станции (ГРС), станции катодной защиты (СКЗ). КП служат для перераспределения газовых потоков между газопроводами, локализации некоторых участков газопроводов при аварийных ситуациях или ремонтных работах и т.п. СКЗ устанавливаются для защиты труб магистрального газопровода от коррозии. На ГРС производится подготовка газа для конечного потребителя: снижение и регулировка давления, одоризация и др. Все перечисленные объекты, за исключением ГРС, работают без участия человека, в автономном режиме и в той или иной степени автоматизированы.

Одной из главных функций газораспределительных станций является телеметрия. Управление объектами осуществляется с диспетчерского пункта компрессорной станции. Учитывая то, что они могут быть удалены от ГКС на 150-200 км, задача организации канала передачи данных является нетривиальной [2].

Другой не менее важной функцией ГРС является система электрохимической (катодной) защиты трубопроводов. Согласно статистике, одной из основных причин аварий на трубопроводах является коррозия труб (более 30% всех отказов). Применение катодной защиты позволяет значительно (в несколько раз) увеличить срок службы трубопровода.

Расходы на ремонт трубопровода, ликвидацию аварий и восстановительные работы превышают расходы на проектирование, сооружение и эксплуатацию систем катодной защиты в десятки раз, именно поэтому катодная защита стала неотъемлемой частью всех действующих



продуктопроводов, водопроводов и тепловых сетей в мире.

Катодная защита трубопроводов осуществляется двумя основными методами: применением металлических анодов-протекторов (гальванический протекторный метод) и применением внешних источников постоянного тока, минус которых соединяется с трубой, а плюс - с анодным заземлением (электрический метод). Если с помощью катодного тока снизить значение электрического потенциала труба-грунт до значения  $-0,85/-1,2$  В, то скорость коррозии трубной стали становится пренебрежительно малой. Для этого трубопровод соединяется с отрицательным полюсом станции катодной защиты, а положительный полюс станции соединяется с анодным заземлением. Контроль защитного потенциала на трубопроводе осуществляется при помощи неполяризуемых электродов сравнения и специальных приборов, подключаемых к контрольно-измерительному пункту [6].

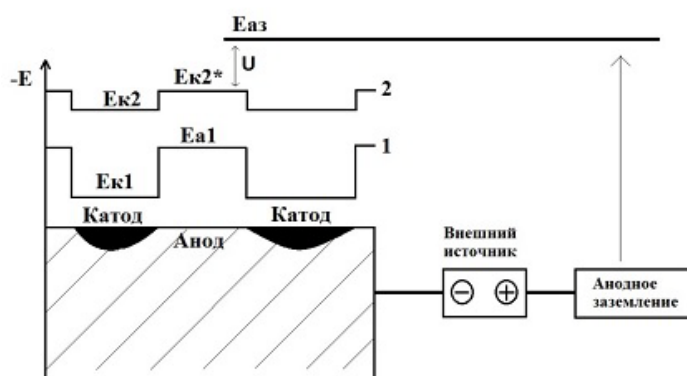


Рисунок 3. – Принцип работы катодной защиты

Наиболее распространенный метод электрохимической защиты от коррозии подземных металлических сооружений - это катодная защита, осуществляемая путем катодной поляризации защищаемой металлической поверхности. На практике это реализуется путем подключения защищаемого трубопровода к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока, называемого станцией катодной защиты. Положительный полюс источника соединяют кабелем с внешним дополнительным электродом, сделанным из металла, графита или проводящей резины. Этот внешний электрод размещается

в той же коррозионной среде, что и защищаемый объект, в случае подземных промысловых трубопроводов, в почве. Таким образом, образуется замкнутая электрическая цепь: дополнительный внешний электрод - почвенный электролит - трубопровод - катодный кабель - источник постоянного тока - анодный кабель. В составе данной электрической цепи трубопровод является катодом, а дополнительный внешний электрод, присоединенный к положительному полюсу источника постоянного тока, становится анодом. Данный электрод называется анодным заземлением. Отрицательно заряженный полюс источника тока, присоединенный к трубопроводу, при наличии внешнего анодного заземления катодно поляризует трубопровод, при этом потенциал анодных и катодных участков практически выравнивается.

Таким образом, система катодной защиты состоит из защищаемого сооружения, источника постоянного тока (станции катодной защиты), анодного заземления, соединительных анодной и катодной линий, окружающей их электропроводной среды (почвы), а также элементов системы мониторинга - контрольно-измерительных пунктов [7].

Следующей функцией ГРС является электрические задвижки для перекрытия. Ни одна трубопроводная система немыслима без использования такого регулирующего органа, как задвижка. Этот тип запорной арматуры предназначен для перекрытия потока жидкости, пара или газа по трубе.

Все задвижки бывают 3 типов: конические, клинкетные и кольцевые. Наибольшее практическое применение получили клинкетные задвижки, которые перекрывают поток жидкости в трубе с помощью плоского затвора, входящего в этот поток перпендикулярно течению жидкости.

У любой задвижки существует две функции: открытие и закрытие трубопровода. Команды на это выполняются в ходе изменения каких-либо контролируемых параметров: давления, температуры, расхода жидкости. Если задвижка включена в систему управления комплексом, то команда на открытие или закрытие может подаваться в зависимости от состояния насосов и

вентиляторов.

Для осуществления дистанционного управления задвижкой используют различные типы приводов: гидравлический, пневматический, электрический. В целях автоматического управления используют электропривод, так как это наиболее удобно и рационально. Асинхронный двигатель чаще всего является электроприводом для задвижки. Его выходной вал соединен с червячным редуктором, выходная шестерня которого входит в зацепление с винтом на выходе задвижки.

Принципиальная электрическая схема управления электрическим приводом задвижки предполагает 3 режима управления: автоматический, дистанционный и наладочный.

Дистанционный режим применяют при управлении электрическим приводом на расстоянии, например, с диспетчерского пульта. Отличие автоматического режима управления электроприводом задвижки заключается в отсутствии какого-либо участия оператора. Наладочный режим необходим для апробации работы задвижки с электроприводом после ремонта или первоначального монтажа [8].

## **1.2 Требования, предъявляемые к электроснабжению ГРС магистральных газопроводов**

Современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять основным требованиям:

- экономичности;
- надежности;
- безопасности;
- удобства эксплуатации;
- обеспечения надлежащего качества электроэнергии (уровней напряжения, стабильности частоты и т.п.);
- необходимой гибкости, обеспечивающей возможность расширения

при развитии предприятия.

Важные дополнительные требования к системам электроснабжения предъявляют:

- высокая степень автоматизации;
- электроприемники с циклически повторяющейся ударной нагрузкой;
- электроприемники непрерывного производства, требующие бесперебойности питания при всех режимах системы электроснабжения.

Специальные требования к системам электроснабжения и электрооборудованию предъявляют электроустановки, расположенные в зонах с загрязненной средой и в районах Крайнего Севера.

При реконструкции и проектировании системы электроснабжения учитывают многочисленные факторы, к числу которых относятся:

- потребляемая мощность;
- категория надежности питания отдельных электроприемников;
- графики нагрузок крупных потребителей;
- характер нагрузок;
- размещение электрических нагрузок на генеральном плане предприятия;
- число и мощность подстанций и других пунктов потребления электроэнергии;
- напряжение потребителей;
- число, расположение, мощность, напряжение и другие параметры источников питания (ИП);
- требования энергетической системы;
- учет совместного питания с другими потребителями;
- требования аварийного и послеаварийного режимов;
- степень загрязненности среды;
- требования ограничения токов короткого замыкания;
- условия выполнения простой и надежной релейной защиты,

автоматики и телемеханики и др.

Определяющими факторами, тесно связанными между собой, являются: характеристика ИП, а также мощность и категорийность потребителей электроэнергии. При построении рациональной системы электроснабжения учитывают общую энергетику рассматриваемого района, перспективный план его электрификации.

При реконструкции действующих и проектировании новых систем электроснабжения различных промышленных предприятий района стремятся к максимальной унификации схемных и конструкторских решений электрической части, электрооборудования и канализации электроэнергии. Подсобные устройства, такие как трансформаторно-масляное хозяйство, электроремонтное хозяйство, диспетчерская связь и другие, а также крупное резервное электрооборудование, выполняют общими для всех предприятий.

При реконструкции действующих и проектировании новых систем электроснабжения целесообразно проводить принцип «децентрализации» трансформирования и коммутации электроэнергии, благодаря чему:

- уменьшаются потери электроэнергии;
- повышается в целом надежность электроснабжения.

Практика эксплуатации, а также опыт, накопленный при реконструкции и проектировании систем электроснабжения, позволили на основе обобщения этих данных выработать критерии в виде нормативных требований обеспечения надежности электроснабжения электроприемников, которые сформулированы в правилах устройства электроустановок.

Выбор схем питания и распределения электроэнергии, напряжения и конфигурации питающих и распределительных сетей до 1 кВ, числа, мощности, месторасположения и типа подстанций решается комплексно с выполнением в необходимых случаях технико-экономического сравнения вариантов по приведенным затратам. При этом учитывается очень важное условие: обязательная координация уровней надежности составных звеньев системы

электроснабжения, таким образом, чтобы надежность повышалась при переходе от потребителей электроэнергии к ИП по мере увеличения мощности соответствующих звеньев системы.

Однако надежное питание электроприемников I и основных нагрузок II категории обеспечивают независимо от их места в системе электроснабжения и мощности.

В целом система электроснабжения выполняется таким образом, чтобы в условиях послеаварийного режима, после соответствующих переключений и пересоединений она была способна обеспечить питание нагрузки предприятия (с частичным ограничением) с учетом использования всех дополнительных источников и возможностей резервирования (перемычек, связей на вторичном напряжении, аварийных источников и т.п.). При этом возможны кратковременные перерывы питания электроприемников II категории на время переключений и пересоединений и перерывы питания электроприемников III категории на время до одной суток.

Для наиболее экономичного резервирования в системах электроснабжения учитывают перегрузочную способность электрооборудования, резервирования технологической части, возможность проведения плановых ремонтов и ревизий электрооборудования в период планово-предупредительных ремонтов технологического оборудования. Кроме того, при аварии предусматривается автоматическая или ручная разгрузка от неответственных потребителей с выделением питания нагрузок III категории для возможности их отключения по аварийному, заранее имеющемуся на предприятии, графику.

При технико-экономических сравнениях возможных вариантов электроснабжения руководствуются директивными документами: РД, ПУЭ и СНиП, в которых даются принципиальные указания для выбора экономически целесообразных технических решений в области энергетики [9].

### **1.3 Поиск перспективных систем электроснабжения ГРС магистральных газопроводов**

Существует много способов обеспечить автономное электроснабжение. За последние годы количество представленных на рынке типов автономных источников электричества значительно возросло. Улучшились и технические характеристики предлагаемого оборудования. Растущая конкуренция среди производителей влечет снижение его стоимости. Однако большинство производителей систем автономного электроснабжения ориентировано на выпуск установок со значительно большей мощностью, чем необходимо для обеспечения потребностей в электроэнергии объектов сети газораспределения. Это объясняется ориентацией на производство оборудования, прежде всего для обеспечения автономного электроснабжения жилых домов. Кроме того, многие из предлагаемых систем обладают сравнительно небольшим ресурсом и могут служить только в качестве резервного источника электроэнергии.

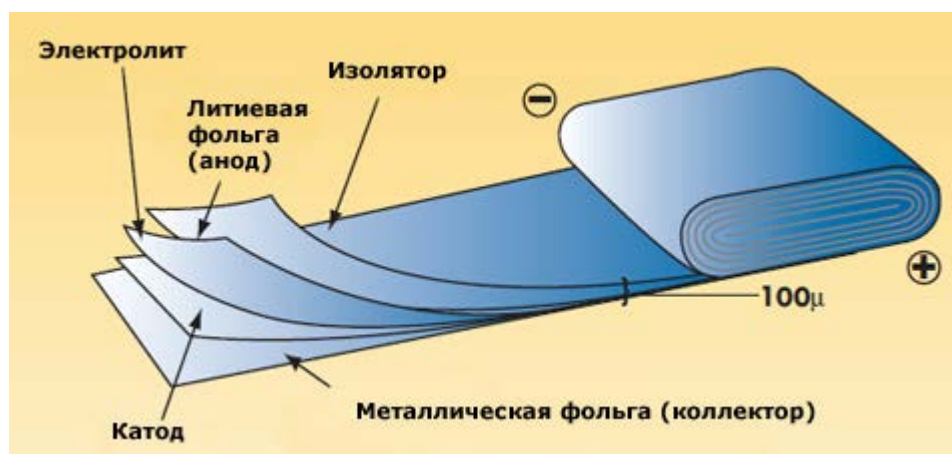
С целью определения наиболее эффективных систем автономного электроснабжения для обеспечения потребностей объектов сети газораспределения по заказу ОАО «Газпром газораспределение» Санкт-Петербургским государственным горным университетом проведена исследовательская работа. Рассмотрены варианты систем автономного электроснабжения, основанные на различных принципах генерации и хранения электроэнергии.

По оценкам специалистов, наиболее подходящими для объектов газораспределительной сети вариантами автономных систем электроснабжения на данный момент являются: химические источники тока; аккумуляторные батареи (АКБ); электрогенераторы на основе двигателя внутреннего сгорания (ДВС); солнечные батареи (СБ); ветровые генераторы (ВГ). Пока менее распространены термоэлектрогенераторы (ТЭГ), детандерные установки (ДУ), термофотоэлектрогенераторы (ТФЭГ), топливные элементы (ТЭ). Рассмотрим каждый из вариантов подробно.

Для объектов с малым потреблением электричества сейчас самый подходящий вариант электроснабжения – использование энергии, накопленной в химических источниках тока. Они подразделяются на гальванические элементы (одноразового действия) и электрические аккумуляторы (многократного действия). Такие системы уже применяются в газораспределении и хорошо себя зарекомендовали для питания систем телесигнализации и телеметрии. Основным недостатком такого энергоснабжения – необходимость периодической замены гальванических элементов или подзарядки аккумуляторов. Увеличение продолжительности работы таких систем достигается уменьшением количества опросов датчиков и сеансов связи с диспетчерским пунктом, что снижает качество получаемой информации.

Использование накопленной в химических источниках тока электроэнергии имеет перспективы в связи с ростом интереса к электромобилям. Многие компании ведут работы по совершенствованию способов хранения электроэнергии. В последние годы в данном направлении достигнуты большие успехи, например технология литиево-металл-полимерных батарей (LMP). Разработаны и другие типы аккумуляторных батарей с улучшенными характеристиками.

Ключевое отличие LMP от родственных литиево-ионных батарей: первые используют металлический литий, в то время как у вторых этот элемент существует либо в форме оксида (или фосфата), либо в виде ионов внутри углеродного материала. Кроме того, в LMP применяется твёрдый электролит.





Наиболее широко на рынке представлены электрогенераторы на основе поршневых двигателей внутреннего сгорания, работающие на различных видах топлива: бензине, керосине, дизельном топливе, природном газе, пропан-бутановой смеси. Для объектов газораспределения наиболее актуальным является применение систем электроснабжения с двигателями, работающими на природном газе. На рынке можно найти множество недорогих газовых установок, уже включающих в себя генератор и автоматику управления. Моторесурс таких установок сравнительно мал, использовать их целесообразно только в качестве резервных источников. Установки с большим моторесурсом, которые обеспечивают необходимую надежность электроснабжения, имеют избыточную мощность и высокую цену. Их целесообразно применять в связке с аккумуляторной батареей большой емкости. Эти системы работают в циклическом режиме, двигатель включается только на время подзарядки батареи. Сейчас анонсируется выпуск роторно-лопастных двигателей внутреннего сгорания, заявленный моторесурс и массогабаритные характеристики которых значительно выше поршневых.

Один из вариантов автономного электроснабжения – установка солнечных батарей (рисунок 5). Вырабатываемая таким способом электрическая энергия может использоваться напрямую различными нагрузками постоянного тока или накапливаться в аккумуляторных батареях для последующего применения. В последние годы появляются солнечные батареи нового типа с КПД. Эффективность этого метода электроснабжения будет повышаться по мере совершенствования солнечных элементов и аккумуляторных батарей.



Рисунок 5. – Установка солнечных батарей

Солнечные модули способны генерировать электричество в течение 20 и более лет. Износ происходит в основном в результате воздействия окружающей среды, потому что никаких термодинамических процессов в установке не происходит – в ней нет движущихся элементов. Эффективность работы солнечной батареи напрямую зависит от потока солнечного излучения.

В России и за рубежом имеется множество компаний, которые предлагают провести полный цикл работ – от проектирования до монтажа и обслуживания систем энергоснабжения, основанных на солнечных батареях. Такой принцип энергоснабжения эффективен в регионах с продолжительными периодами нормальной инсоляции (большим количеством солнечных дней). К недостаткам подобных систем можно отнести необходимость периодической очистки поверхности солнечных модулей. Это особенно актуально в зимний период, когда часто идет снег, а поток солнечной энергии и так заметно снижен. Для стабильного электроснабжения объектов газораспределительных сетей с использованием солнечных батарей необходимы значительный запас мощности солнечных батарей и большая емкость аккумуляторных батарей для

обеспечения достаточного запаса электроэнергии на период отсутствия или слабой инсоляции. Все это приводит к высоким капитальным и эксплуатационным затратам. Применение таких систем становится эффективным при условии небольшого электропотребления объекта, большого количества солнечных дней в году и низкой вероятности налипания снега.

Большинство производителей систем автономного электроснабжения ориентировано на выпуск установок со значительно большей мощностью, чем необходимо для обеспечения потребностей в электроэнергии объектов сети газораспределения.

Использование энергии ветра по всему миру находит все большее применение. Диапазон мощностей ветроэлектростанций (ВЭС) достаточно широк. В настоящее время производятся относительно эффективные ВЭС небольшой мощности, пригодные для использования в системах электроснабжения объектов сети газораспределения (например, инерционные бесшумные вертикальные ветрогенераторы). Как и в случае с солнечными батареями, эффективность ветроустановок зависит от внешних факторов (наличие и сила ветра). Ветроэлектростанции также требуют аккумуляторных батарей большой емкости.

Наиболее эффективно системы автономного электроснабжения с использованием природных явлений работают при сочетании разных источников энергии. Большинство компаний, представленных на рынке автономных систем электроснабжения, предлагают комбинированные электростанции, включающие ветрогенератор, солнечные батареи и резервный генератор с двигателем внутреннего сгорания. Такое сочетание позволяет сократить емкость аккумуляторных батарей. Недостаток генерации от одного источника покрывается другими источниками, обеспечивая стабильное электроснабжение. Однако капитальные и эксплуатационные затраты на эти системы весьма существенны из-за большого числа агрегатов, поэтому распространения на сетях газораспределения они не получили.

Эффект термоэлектрогенерации известен давно, и промышленность выпускает много приборов на его основе. Широко применяются термопары в измерительных приборах и системах автоматики. Генераторы, основанные на использовании термоэлектрических эффектов, распространены намного меньше. Главная причина тому – низкий КПД термоэлектрических генераторов. Тем не менее термоэлектрогенераторы применяются во многих отраслях, в первую очередь из-за своей простоты и универсальности.

Главный элемент ТЭГа – закрытый термоэлектрический модуль (термобатарея), содержащий матрицу полупроводниковых элементов. Для работы термобатареи не важно, какое топливо сжигается и сжигается ли оно вообще, главное – чтобы был перепад температур. ТЭГи используют в тех случаях, когда КПД аппарата отходит на второй план по сравнению с размером капитальных вложений и уровнем эксплуатационных затрат на другие варианты электроснабжения. Есть немало примеров успешного применения ТЭГов для автономного электроснабжения систем телеметрии, ретранслирующих устройств и прочей электроники на удаленных объектах. Применяются ТЭГи и в системе газоснабжения – как на объектах магистрального транспорта, так и на объектах сети газораспределения.

Сами ТЭГи практически не требуют технического обслуживания, и регламентные работы на них чаще связаны с необходимостью обслуживать горелки и автоматику управления. Выход из строя термоэлектрических модулей происходит в основном из-за разрушения керамических термоэлементов во время включений/выключений. В последнее время на рынке появились некерамические термоэлектрические модули, которые выдерживают в 5-10 раз больше термоциклов (включение и выключение). К тому же КПД этих элементов существенно выше и составляет уже больше 20%. Кроме того, ряд лабораторий ведут работу по поиску новых термоэлектрических материалов, и уже есть определенные успехи. В скором времени можно ожидать появления ТЭГов с КПД, близким к КПД тепловых электростанций.

Одним из возможных источников энергии для электроснабжения объектов сети газораспределения является кинетическая энергия потока газа или потенциальная энергия газа, находящегося под давлением. Кинетическая энергия потока газа возникает вследствие перепада давления в начале и конце сети газораспределения. Именно благодаря создаваемой на компрессорных станциях потенциальной энергии газа осуществляется его транспортировка по газораспределительной сети. В большинстве случаев в сети имеется избыток этой энергии, часть которого можно направить на выработку электрической энергии. Устройства, преобразующие потенциальную энергию газа в механическую энергию, называются *детандерами*. Наиболее распространены поршневые детандеры и турбодетандеры. Используются они в основном при производстве жидких газов. Существуют примеры применения турбодетандеров для выработки электроэнергии, но практически все они рассчитаны на большую мощность и требуют больших потоков газа и перепадов давления.

Эксперименты с турбодетандерами малой мощности проводятся как в России, так и за рубежом. Один из недостатков этих устройств – их зависимость от расхода газа потребителями, в период отсутствия или малого отбора газа отсутствует и поток газа или его кинетическая энергия слишком мала для выработки электроэнергии. Этот недостаток в большинстве случаев легко компенсируется за счет правильного подбора детандера и аккумуляторной батареи.

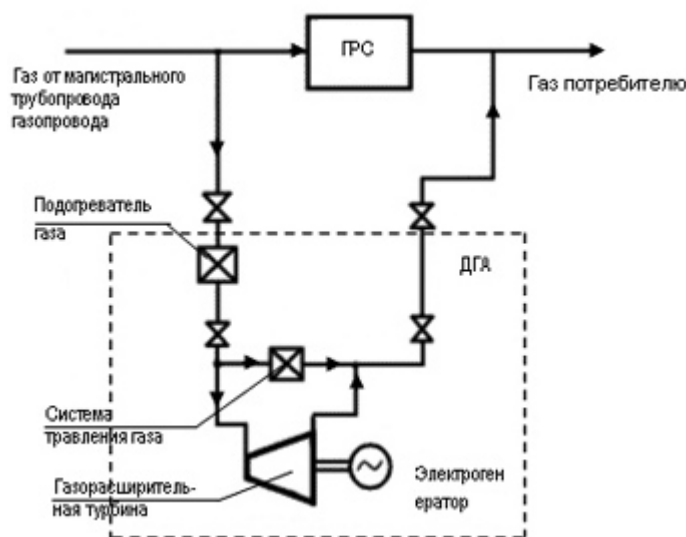


Рисунок 6. – Схема газораспределительной станции с детандер - генераторным агрегатом (ДГА)

Одной из причин того, что детандеры до сих пор не стали применяться массово, вероятно, является стремление их производителей сконструировать агрегат с максимальным КПД, из-за чего сужается диапазон режимов его работы и увеличиваются требования к условиям применения. На объектах газораспределительной сети нет необходимости всю кинетическую энергию потока газа преобразовывать в электрическую. Электроэнергии нужно вырабатывать ровно столько, сколько необходимо для обеспечения электроснабжения объекта, а перепад давления на детандере должен быть при этом как можно меньше (газ еще предстоит транспортировать дальше по сети).

Стоит отметить, что в настоящее время ведутся разработки и испытания новых конструкций и типов детандеров, в том числе и без турбины. В свете этого технологию автономного электроснабжения объектов газораспределительной сети с помощью детандеров следует признать перспективной.

Несмотря на схожесть в названии термофотоэлектрогенераторов и термоэлектрогенераторов принцип действия данных приборов абсолютно разный. Термофотоэлектрогенераторы больше похожи на солнечную батарею, с той разницей, что фотоэлемент в таких генераторах поглощает не солнечное излучение, а излучение, которое возникает при сжигании топлива. В ТФЭГ

используются фотоэлементы, чувствительные в ближней инфракрасной области спектра. В 1990-х годах в США была выпущена ограниченная партия таких систем, но по причине высокой стоимости и относительно низкого КПД серийное производство налажено не было. В связи с появлением высококачественных светофильтров, пропускающих определенный спектр и отражающих оставшуюся часть излучения, а также новых типов фотоэлементов появилась возможность значительно повысить КПД ТФЭГ. Сейчас несколько лабораторий в России и за рубежом трудятся над созданием высокоэффективных ТФЭГ. Прежде всего, разработчики оценивают ТФЭГ как перспективную альтернативу автомобильному генератору. Некоторым лабораториям уже удалось создать опытные образцы с КПД около 40%. В скором времени можно ожидать появления ТФЭГ, который будет эффективен для использования на объектах газораспределительных сетей.

Наиболее высоким КПД из всех рассматриваемых источников обладают топливные элементы. Теоретически КПД окисления водорода в ТЭ стремится к 100%. Тем не менее, пока проблема снабжения их водородным топливом стоит не менее остро, чем проблема разработки самих систем. Водород является экологически чистым энергоносителем, но сложность его производства, хранения и транспортировки, а также обеспечения безопасности этих процессов существенно повышает стоимость эксплуатации систем на топливных элементах.

В ТЭ энергия химических реакций непосредственно преобразуется в электрический ток. В состав топливного элемента входят два электрода – анод и катод, разделенные мембраной, или твердым электролитом. В настоящее время для практического применения твердооксидные ТЭ имеют ряд преимуществ. Хотя их КПД несколько ниже КПД мембранных ТЭ, они более долговечны и менее чувствительны к чистоте подаваемого топлива. Применение ТЭ на объектах газораспределительной сети целесообразно в случае выделения водорода из природного газа непосредственно на объекте.

Установки по разложению метана для выделения водорода существуют уже сейчас, но при этом общий КПД такой установки все-таки не так высок (часть химической энергии метана используется для выделения водорода) и составляет около 35%. Не стоит отмечать и варианты применения в качестве топлива метанола или водорода, выделенного в результате окисления активных металлов, например алюминия. Разработки электростанций с ТЭ на метаноле ведутся за рубежом и в России. Работы в области выделения водорода с участием алюминия привели к возникновению целого направления – алюмоэнергетики.

Таким образом, сегодня применение автономных источников электроэнергии на объектах газораспределительной сети может быть экономически выгодным только тогда, когда энергообеспечение от сетей электроснабжающих организаций требует больших капитальных затрат. Выбор системы электроснабжения зависит от конкретных условий и должен быть обоснован для каждого объекта. Универсального решения, которое удовлетворяло бы по всем технико-экономическим параметрам, сейчас нет, и подключение к централизованному электроснабжению в большинстве случаев наиболее обоснованно. Однако создание автономного источника электроснабжения, соответствующего потребностям газовой отрасли, прежде всего с экономической точки зрения, могло бы изменить подход к системе электрообеспечения объектов газоснабжения, позволив отказаться от покупки электроэнергии у стороннего поставщика [1].

#### **1.4 Цели и задачи выпускной квалификационной работы**

Целью работы является разработка автономной системы электроснабжения газораспределительной станции магистрального трубопровода с использованием возобновляемых энергетических источников.

Для достижения поставленной цели предлагается решить задачи:

— Анализ требований, предъявляемых к системам электроснабжения



газораспределительных подстанций.

- Расчет и анализ графиков электрических нагрузок газораспределительной станции.

- Анализ существующих схем электроснабжения элементов магистральных газопроводов.

- Оценка потенциала возобновляемых энергетических ресурсов (энергий Солнца и ветра) на предмет использования для построения данной системы электроснабжения.

- Разработка структурной схемы электроснабжения газораспределительной станции.

- Построение математической модели схемы электроснабжения.

- Технико-экономическая оценка вариантов схем автономного электроснабжения газораспределительной станции.

- Разработка требований к оборудованию системы электроснабжения.

- Подбор и разработка оборудования для построения системы электроснабжения.

- Написание публикации по результатам работы.

## **Вывод по первой главе**

Основные результаты работы по первому разделу:

- Ознакомились с особенностями газораспределительных станций, их типами, а также главными функциями. Подробно был рассмотрен преобразователь энергии ORMAT.

- Проанализированы требования, предъявляемые к электроснабжению магистральных газопроводов.

- Были рассмотрены перспективные системы электроснабжения ГРС. Ознакомились с существующими альтернативными способами получения электроэнергии из возобновляемых источников, которые активно

совершенствуются и получают все большее распространение. Проведена оценка возможности применения возобновляемых источников для автономного электроснабжения газораспределительных подстанций.

- Работа выполнялась в соответствии с поставленными целями и задачами. Проведен аналитический обзор методов, в результате которого выяснили, что наиболее перспективными источниками возобновляемой энергии являются энергия Солнца и ветра.



- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

#### **4.1 Технико-экономическое обоснование научного исследования**

Проблема высокой себестоимости производимой электроэнергии в районах с децентрализованным (автономным) электроснабжением является одной из ключевых в децентрализованной энергетике. Основной причиной высоких тарифов на электроэнергию являются затраты на дизельное топливо для дизельных электростанций (включая затраты на транспортировку). Также существует проблема износа технического ресурса парка дизельных электростанций (процент износа составляет более 75%). Наличие данных проблем требует проведения мер по модернизации автономных систем электроснабжения и внедрению гибридных энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии.

Исследования, проводимые в данной диссертационной работе, являются актуальными для автономных систем электроснабжения с зонами децентрализованного электроснабжения.

Применение гибридных энергетических комплексов с возобновляемыми источниками энергии является инновацией, не имеющей конкурентоспособных технических решений.

Сам проект не имеет коммерческой составляющей, так как не производится разработка нового энергетического оборудования, происходит применение предлагаемых готовых технических решений для реализации проекта. Тем не менее, результаты важны для решения проблемы электроснабжения газораспределительной станции магистральных трубопроводов.

## 4.2 Планирование процесса управления НТИ

Планирование — это разработка системы целенаправленных действий по реализации инвестиционного проекта, предусматривающая порядок, последовательность и сроки выполнения работ и обеспечивающая эффективное использование материально-технических, трудовых и финансовых ресурсов. Принятые на основе планов управленческие решения должны отвечать прогрессивным организационно-техническим и технологическим принципам осуществления всех видов работ в заданные сроки и с высоким их качеством.

### 4.2.1 Составление перечня работ

Таблица 15. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и поиск материалов по теме	Студент
	3	Выбор способов анализа	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент
Теоретические исследования и проектная часть	5	Поиск методов исследования	Студент
	6	Выбор объекта и метода проектирования	Студент
	7	Реализация проектных решений	Студент
Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, разработка рекомендаций, выводы	Студент
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент

Необходимо оценить трудоемкость выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР). Трудоемкость оценивается экспертным

путем в человеко-днях и носит вероятностный характер.

Разобьем на этапы выполнение НИР, содержимое этапов представлено в таблице 15.

#### 4.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществим опытно-статическим методом [32], основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (34)$$

где  $t_{ож\ i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  $t_{\min\ i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max\ i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (35)$$

где  $T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ож\ i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k , \quad (36)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;  
 $k$  - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} , \quad (37)$$

где  $T_{кг}$  – количество календарных дней в году;  $T_{вд}$  – количество выходных дней в году;  $T_{пд}$  – количество праздничных дней в году.

Число выходных/праздничных дней в 2016 году составляет 119.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{366}{366 - 119} = 1,48.$$

Следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_k$  нужно округлить до целых чисел.

Удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ определяется по формуле:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% , \quad (38)$$

где  $Y_i$  - удельное значение каждой работы в %;  $T_p$  – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Техническая готовность темы рассчитывается по формуле:

$$G_i = \frac{\sum_{i=1}^i T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% , \quad (39)$$

где  $\sum_{i=1}^i T_{pi}$  – нарастающая продолжительность на момент выполнения  $i$ -той работы.

Результаты расчетов приведены в таблице 16.

Таблица 16. Временные показатели выполнения ВКР

№ раб	Исполнители	Продолжительность работ						
		$t_{min}$ , чел-дн.	$t_{max}$ , чел-дн.	$t_{ож}$ , чел-дн.	$T_p$ , раб. дн.	$T_k$ , кал. дн.	$Y_i$ , %	$\Gamma_i$ , %
1	Руководитель	2	4	3	3	4	3,94	4,23
2	Студент	10	14	12	12	17	16,34	12,68
3	Студент	2	4	3	3	4	3,94	24,23
4	Руководитель, студент	1	2	1	1	1	0,99	18,31
5	Студент	7	14	10	10	15	13,80	32,39
6	Студент	1	2	1	1	2	1,97	33,80
7	Студент	14	21	17	17	25	23,66	57,75
8	Студент	3	7	5	5	7	6,48	64,79
9	Руководитель, студент	3	7	5	2	3	3,24	67,61
10	Студент	21	28	24	24	35	33,52	100
Итого					77	113		

#### 4.2.3 Построение графика работ

Цель формирования плана-графика проекта – эффективное планирование реализации проекта.

Результат формирования плана-графика проекта – календарный план работ по проекту, который позволяет:

- получить точное и полное расписание проекта;
- учесть этапы, работы проекта и их результаты;
- учесть длительность работ по проекту;
- учесть необходимых исполнителей для реализации проекта.

Для удобства и наглядности календарного плана работ для построения ленточного графика выполнения ВКР используют диаграммы Ганта [32]. Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором этапы НИР представлены в виде протяженных по времени отрезков, характеризующихся датами начала и окончания выполнения данных работ.



Таблица 17. Календарный план проведения НИР

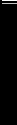











Этапы	Вид работы	Исполнители	$t_k$	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель	4					
2	Изучение проблемы, поиск материалов	Студент	17					
3	Выбор способов анализа	Студент.	4					
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1					
5	Поиск методов исследования	Студент	15					
6	Выбор объекта и метода проектирования	Студент	2					
7	Реализация проектных решений	Студент.	25					
8	Анализ результатов, разработка рекомендаций, выводы	Студент	7					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	3					
10	Составление пояснительной записки	Студент	35					
 - работа руководителя,  - работа студента								

График строится в рамках таблицы с разбиением по месяцам и неделям

периода выполнения НИР (таблица 17). При этом работы на графике отображаются в виде прямоугольников различных цветов в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таким образом, на выполнение НТИ понадобится 77 рабочих (113 календарных) дней.

### 4.3 Расчет бюджета проектно-исследовательской работы (ПИР)

Планирование бюджета проектно-исследовательской работы осуществляется с целью полного и достоверного отражения всех расходов, связанных с их выполнением. Затраты на выполнение ПИР разобьем на следующие группы:

- а) материальные затраты;
- б) затраты на специальное оборудование и программное обеспечение;
- в) заработная плата персонала (основная и дополнительная);
- г) страховые отчисления;
- д) накладные расходы.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат проектно-исследовательской работы

Таблица 18. Затраты на канцелярские товары

№	Наименование изделия	Единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Бумага А4	пачка	1	290	290
2	Тетрадь общая	штука	2	50	100
3	Ручка	штука	5	30	150
4	Набор карандашей	штука	1	150	150
5	Готовальня	штука	1	390	390
6	Калькулятор	штука	1	592	592
Итого					1672

К материальным затратам отнесем суммарную стоимость оборудования для ветродизельной электростанции, суммарную стоимость строитель-

монтажных работ, транспортные расходы, а также затраты канцелярские товары (таблица 18).

#### 4.3.2 Затраты на специальное оборудование и программное обеспечение

К данной группе затрат отнесем затраты на специализированное программное обеспечение, используемое при выполнении ПИР.

Таблица 19. Затраты на программное обеспечение

№	Наименование	Количество	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Пакет программ Microsoft Office	1	30099	30099
2	Mathcad	1	5240	5240
3	MATLAB Simulink	1	6890	6890
4	Компас-график	1	60000	60000
Итого				102229

Амортизация рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (40)$$

где  $H_A$  – норма амортизации,  $I$  – итоговая сумма, руб.;  $m$  – время использования в месяцах.

Норму амортизационных отчислений рассчитаем по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (41)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количествах лет.

$$H_A = \frac{1}{5} = 0,2,$$

$$A = \frac{0,2 \cdot 102229}{12} \cdot 6 = 13630,5 \text{ руб.}$$

#### 4.3.3 Расчет заработной платы персонала

К этой группе затрат относится заработная плата (ЗП) научных работников, участвующих в выполнении проектно-исследовательских работ (научного руководителя и студента-магистранта).

Таблица 20. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн.	ЗП, приходящаяся на один чел.-день, руб.	Всего ЗП по тарифу (окладам), руб.
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель	4	3600	14400
2	Изучение проблемы, поиск материалов	Студент	17	800	13600
3	Выбор способов анализа	Студент	4	800	3200
4	Календарное планирование работ	Руководитель, Студент	1	3600 800	3600 800
5	Поиск методов исследования	Студент	15	800	12000
6	Выбор объекта и метода проектирования	Студент	2	800	1600
7	Реализация проектных решений	Студент	25	800	20000
8	Анализ результатов, разработка рекомендаций, выводы	Студент	7	800	5600
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент	3	3600 800	10800 2400
10	Составление пояснительной записки	Студент	35	800	28000
Итого руководитель					28800
Итого студент					87200
Итого					116000

Согласно тарифу (окладам), за час работы руководитель получает 450 рублей, студент – 100 рублей. Один день работы составляет 8 часов.

Расчет основной заработной платы сведен выше в таблицу 20.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} , \quad (42)$$

где  $k_{доп}$  - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{доп.рук.} = 28800 \cdot 0,15 = 4320 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп.студ.} = 87200 \cdot 0,15 = 13080 \text{ руб.}$$

Итоговая зарплата рассчитывается по формуле:

$$Z_{итог} = Z_{осн} \cdot Z_{доп} . \quad (43)$$

$$Z_{итог.рук.} = 28800 + 4320 = 33120 \text{ руб.},$$

$$Z_{итог.студ.} = 87200 + 13080 = 100280 \text{ руб.}$$

#### 4.3.4 Расчет страховых отчислений

К обязательным отчислениям, согласно законодательству Российской Федерации, относятся внебюджетные фонды: отчисления социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ), медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Размер отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается по формуле:

$$Z_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot k_{внеб} . \quad (44)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и

научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% .

Рассчитаем размер отчислений во внебюджетные фонды:

$$\begin{aligned} Z_{внеб.рук.} &= 33120 \cdot 0,271 = 8975,5 \text{ руб.}, \\ Z_{внеб.студ.} &= 100280 \cdot 0,271 = 27175,9 \text{ руб.} \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Расчет накладных расходов

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = \left( \sum статей \right) \cdot k_{нр} , \quad (45)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16).

Итак, накладные расходы составят:

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (1672 + 102229 + 10222,9 + 33120 + 100280 + 8975,5 + 27175,9) \cdot 0,16 = \\ &= 283675,3 \cdot 0,16 = 45388,05 \text{ руб.} \end{aligned}$$

#### 4.3.6 Формирование бюджета затрат проектно-исследовательской работы (ПИР)

Сведем все статьи расходов в таблицу 21.

Таблица 21. Расчет бюджета затрат ПИР

№	Наименование статьи расходов	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	2 239 088
2	Затраты на программное обеспечение	102 229
3	Затраты на амортизацию	13 630,5
4	Затраты на заработную плату	133 400
5	Затраты на внебюджетные отчисления	36 151,4
6	Затраты на накладные расходы	45 388,05
7	Бюджет затрат ПИР	2 569 886,95

#### **4.4 Оценка энергетической и ресурсной эффективности, оценка экономического эффекта НТИ**

Расчет капитальных затрат на строительство гибридного ветродизельного энергетического комплекса, расчеты экономической, энергетической, а также ресурсосберегающей эффективности проекта представлены в главе 2, пункте 2.4.

Основой для построения гибридных электростанций децентрализованных систем электроснабжения являются дизельные генераторы. В данной работе они используются в качестве резервного источника электроэнергии для обеспечения требуемой надежности системы. Для основного источника электропитания необходимо было оценить энергетический потенциал возобновляемых источников энергии в данной местности, чтобы понять, какой энергоресурс целесообразно применить в гибридном энергокомплексе. Наиболее перспективными источниками возобновляемой энергии являются энергия Солнца и ветра. Исходя из исходных данных местности, была произведена оценка потенциала возобновляемых энергетических ресурсов (энергий Солнца и ветра) на предмет использования для построения данной системы электроснабжения. По произведенным расчетам, можно сделать вывод, что энергия ветра является более перспективным энергоресурсом, а также этот вариант более выгоден с финансовой точки зрения, т.к. суммарные расходы на оборудования ветроэлектростанции составляют 2 237 416 рублей, а на фотоэлектростанцию – 4 922 926 рубля. Итак, для построения гибридных электростанций для децентрализованных систем электроснабжения основным источником питания выбрали ВЭУ.

В рамках выполнения проекта гибридной ветро-дизельной системы электроснабжения газораспределительной станции магистральных газопроводов были выбраны современные оборудования рациональной мощности.

Таким образом, НТИ можно считать ресурсноэффективным с точки зрения экономии энергетических ресурсов и экономически целесообразным с точки зрения использования варианта оборудования ветроэлектростанции, позволяющим сэкономить более 2,7 миллионов рублей по сравнению с оборудованием на фотоэлектростанцию.

### **Вывод по четвертой главе**

- Произведена оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования. НТИ не является коммерческим проектом, но результаты важны для решения проблемы электроснабжения газораспределительной станции магистральных трубопроводов.
- Осуществлено планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения работ. Обозначен список выполняемых работ, а также стоимость каждого из них. НТИ осуществляется за 77 рабочих (113 календарных) дней.
- Произведен расчет стоимости научного исследования, в том числе стоимость затрат на материально-технические и человеческие ресурсы. Определены материальные затраты, затраты на программное обеспечение, амортизацию, затраты на заработную плату, накладные расходы. Общий бюджет исследования составил: 2 569 886,95 рублей.
- Определена ресурсная (энергетическая), финансовая и экономическая эффективность проектно-исследовательской работы.

Таким образом, с точки зрения экономической эффективности исследование является весьма полезным для электроснабжения ГРС магистральных газопроводов, что в данном случае является актуальным. Исходя из этого, проект можно считать экономически целесообразным и ресурсоэффективным.



## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА**

1. Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей: сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции: в 3-х ч. / под ред. Н.А. Качалова (Часть III); Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 211 с.